

Upravljanje električnom propulzijom

Obradović, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:740347>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO

UPRAVLJANJE ELEKTRIČNOM PROPULZIJOM
ZAVRŠNI RAD

Predmet: Automatizacija brodskih sustava

Mentor: doc. dr. sc. Mato Mišković

Student: Josip Obradović

Dubrovnik, kolovoz, 2018

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
1	ELEKTRIČNA PROPULZIJA	2
1.1	PROPULZIJSKI MOTOR.....	4
1.2	ASINKRONI PROPULZIJSKI MOTOR	5
1.3	SINKRONI PROPULZIJSKI MOTOR.....	6
1.4	SINKRONI MOTOR S PERMANENTNIM MAGNETOM	7
1.5	PROMJENA SMJERA VRTNJE DC MOTORA.....	8
1.6	PREDNOSTI ELEKTRIČNE PROPULZIJE	10
1.7	NEDOSTACI ELEKTRIČNE PROPULZIJE	11
2	PRETVARAČI.....	12
2.1	PODJELA PRETVARAČA S PRIMJENOM U BRODSKOJ ELEKTRIČNOJ PROPULZIJI	13
3	UPOTREBA VISOKOG NAPONA NA BRODOVIMA S DIZELELEKTRIČNOM PROPULZIJOM	19
4	AZIPOD.....	21
4.1	PREDNOSTI AZIMUTALNOG PROPULZIJSKOG SUSTAVA	23
4.2	PRIMJENA ELEKTRIČNE PROPULZIJE NA BRODU	24
5	ZAKLJUČAK.....	26
6	LITERATURA	27

1. UVOD

Električna propulzija služi se za pogon elektromotora akumuliranom električnom energijom. Postoji kombinirana propulzija koja može koristiti dva ili više različitih vrsta izvora električne energije (npr. akumulatorska baterija i dizelski generator), a za razliku od toga kada je riječ o propulziji s električnim prijenosom koristi se za pogon elektromotora električnom energijom iz generatora, tj. između glavnoga pogonskog stroja (npr. parna ili plinska turbina i dizelski motor) i propelera koji je uvijek priključen na električni prijenosni član. Najveći problem električnog pogona propelera je akumulacijska baterija visokonaponskih sustava jer postoji velik rizik od smrtonosnih stujnih udara. Zato je potrebno za takve brodove koristiti posebne mjere za zaštitu, a osoblje koje je zaduženo za održavanje visokog napona (*HV- eng. High voltage*) opreme mora biti posebno osposobljeno i upoznato sa svim sigurnosnim postupcima uradu, kako bi sigurnost bila što bolja i učinkovitiji.

1 ELEKTRIČNA PROPULZIJA

Podjela električnog prijenosa za propulziju može biti različita najčešće se razvrstava prema:

1. vrsti glavnog stroja
2. značajkama pogona
3. vrsta struje (istosmjerna, izmjenična)

Prvo, prema vrsti glavnog stroja električna se propulzija dijeli na:

- dizelsko–električnu, koja rabi dizelske motore brzine vrtnje od 700 do 1.500 r min⁻¹, snage do približno 6.000 kW, i to za istosmjerne, izmjenične i izmjeničnoistosmjerne sustave.
- turbinsko-električnu, koja rabi parne ili plinske turbine brzine vrtnje od 3.000 do 6.000 r min⁻¹ s pojedinačnom snagom do 45 MW, i to za izmjenične i izmjenično i stosmjerne sustave.

Te, prema značajkama pogona električni prijenos može se podijeliti prema:

- učestalosti pokretanja,
- brzini pokretanja,
- zahtjevima opsega promjene brzine,
- veličini promjene napona,
- snazi

Drugo, s obzirom na vrstu struje električni se prijenos može podijeliti na:

- istosmjerno-istosmjerni, sastavljen od istosmjernog generatora i istosmjernog porivnog elektromotora s različitim međusobno izvedenim spojevima.

 - izmjenično-istosmjerni, sastavljen od sinkronoga generatora koji preko neupravljivih i upravljivih pretvarača napaja istosmjerni porivni elektromotor.

 - Izmjenično-izmjenični sastavljeni su od sinkronoga generatora koji daje električnu energiju sinkronom ili asinkronom porivnom elektromotoru.
- Najbolji se pogon dobiva ako se izmjenični motori ne napajaju izravno iz izmjeničnoga generatora (brodske izmjenične mreže).

1.1 PROPULZIJSKI MOTOR

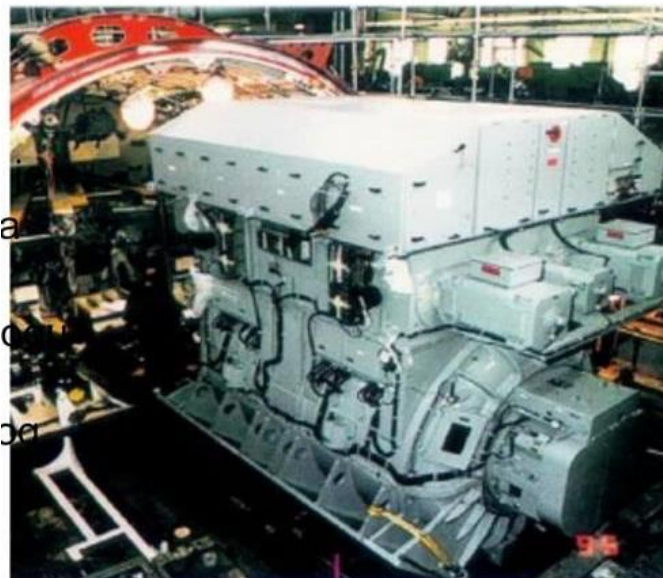
Dakle, pogoni poput električnih vlakova, podmornica, za platforme koriste d.c. propulzijske motore. U prošlosti je njihova upotreba bila mnogo raširenija i mnogo učestalija nego što se to koristi danas, ali se još uvijek koriste u pogonima gdje je potreban veliki zakretni moment i / ili precizna kontrola brzine vrtnje.

Na primjer, armaturna struja i magnetski tok se mogu odvojeno kontrolirati pa istosmjerni motor omogućava vrlo povoljne karakteristike zakretnog momenta i brzine za pogon.

Za regulaciju brzine vrtnje i zakretnog momenta te preketanje propulzora koriste specijalne istosmjerne i izmjenične (a.c. i d.c) pretvarače.

Glavni nedostatak istosmjernih motora je što se potrebna komutacija armaturne struje vrši pomoću mehaničkog komutatora na rotirajućoj osovini.

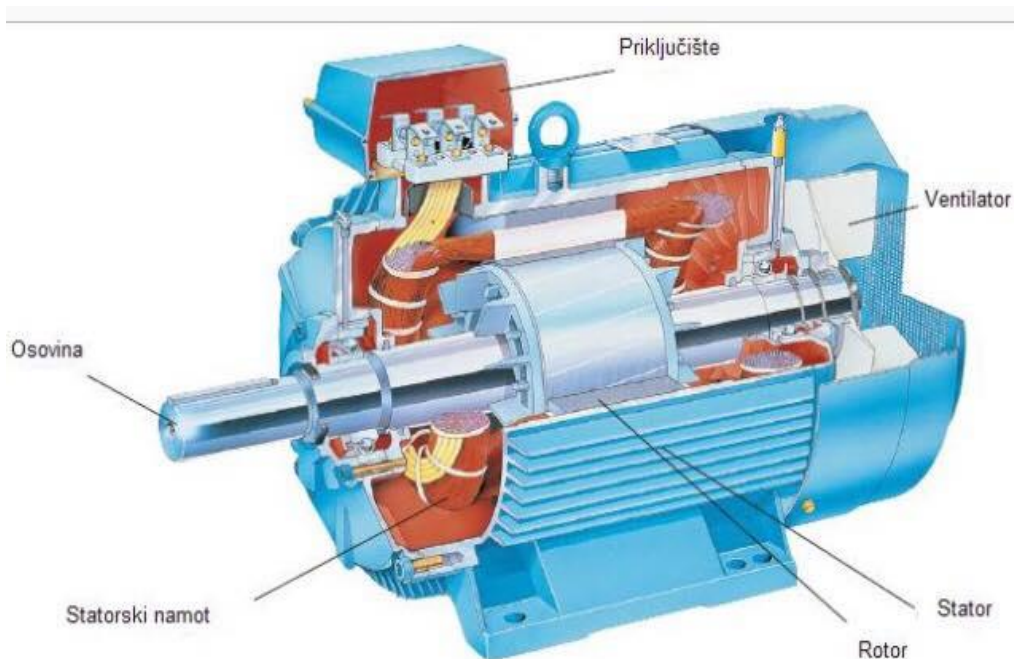
Oni zahtijevaju održavanje kao i njihove ugljene četkice.



Slika 1. Propulzijski motor

1.2 ASINKRONI PROPULZIJSKI MOTOR

Asinkroni propulzijski motor se koristi za male i srednje snage propulzije (1-5 MW) najčešće ukombinirani s PWM pretvaračima frekvencije. S početkom primjene električne propulzije najviše su se upotrebljavali zbog jednostavnosti konstrukcije i manje težine. S vremenom su ti motori postali jeftiniji i upotreba tiristorsko-tranzistorskih pretvarača frekvencije dolaze do utjecaja na cijenu. Trofazna struja napajanja statora proizvodi okretno magnetsko polje koje inducira struju u kaveznom namotaju rotora. Međudjelovanjem statorskog magnetskog toka i rotorske struje stvara se zakretni moment na pogonskoj osovini. Da bi se mogla inducirati struja u rotoru njegova brzina okretanja treba biti nešto manja nego brzinaokretnog magnetskog polja statora. Ta razlika se zove klizanje.



Slika 2. Asikroni propulzijski motor

1.3 SINKRONI PROPULZIJSKI MOTOR

Ovaj tip električnog motora je stekao najširu primjenu kao propulzijski motor u suvremenim sistemima električne propulzije broda. Rotor im se sastoji od para magnetskih polova s d.c. uzbuđom i rotira u sinhronizmu s okretnim magnetskim poljem statora tako da nema klizanja kao kod asinkronih motora. Veće dimenzije i cijena, u odnosu na asinkrone, kao glavni nedostaci ovog motora su prevladani brojnim prednostima koje pruža u radu. Sinkroni motori rade s faktorom snage $\cos \varphi$ i s većom korisnošću η pa su im pogonski generatori i kabelska mreža lakši nego kod asinkronih. U konstruktivnom pogledu prednost im je u većem zračnom rasporu između rotora i statora pa suprikladniji za montažu na brodu. Na uzburkanom moru dolazi do savijanja broskog trupa, a time i do savijanja temeljne ploče motora, što može uzrokovati dodirivanje rotora sa statorom i dovesti do njihovog oštećenja.



Slika 3. Sinkroni propulzijski motor

1.4 SINKRONI MOTOR S PERMANENTNIM MAGNETOM

Ovaj tip sinkronog motora se od 1997.g. ugrađuje u SSP azimutalne pogonske jedinice koje sačinjavaju najmoderniji sustav električne propulzije današnjice. U usporedbi s klasičnim sinkronim motorom promjer ovog motora je za 40 % manji što znatno poboljšava hidro-dinamička svojstva propulzijskog pogona, a također mu je i težina za 15 % manja. Unutar motora magnetski tok se generira visoko-učinskim permanentnim magnetima koji su smješteni na rotoru i zamjenjuju uobičajene uzbudne namote i dodatne sklopove kao što su kolektorski prstenovi i ispravljači. Zbog takve konstrukcije znatno su smanjeni volumen i težina, a pošto se sam motor nalazi u "gondoli" van broda, kao glavni rashladni medij služi more pa dodatni rashladni sustavi nisu potrebni što značajno smanjuje dimenzije i težinu propulzijskog pogona.

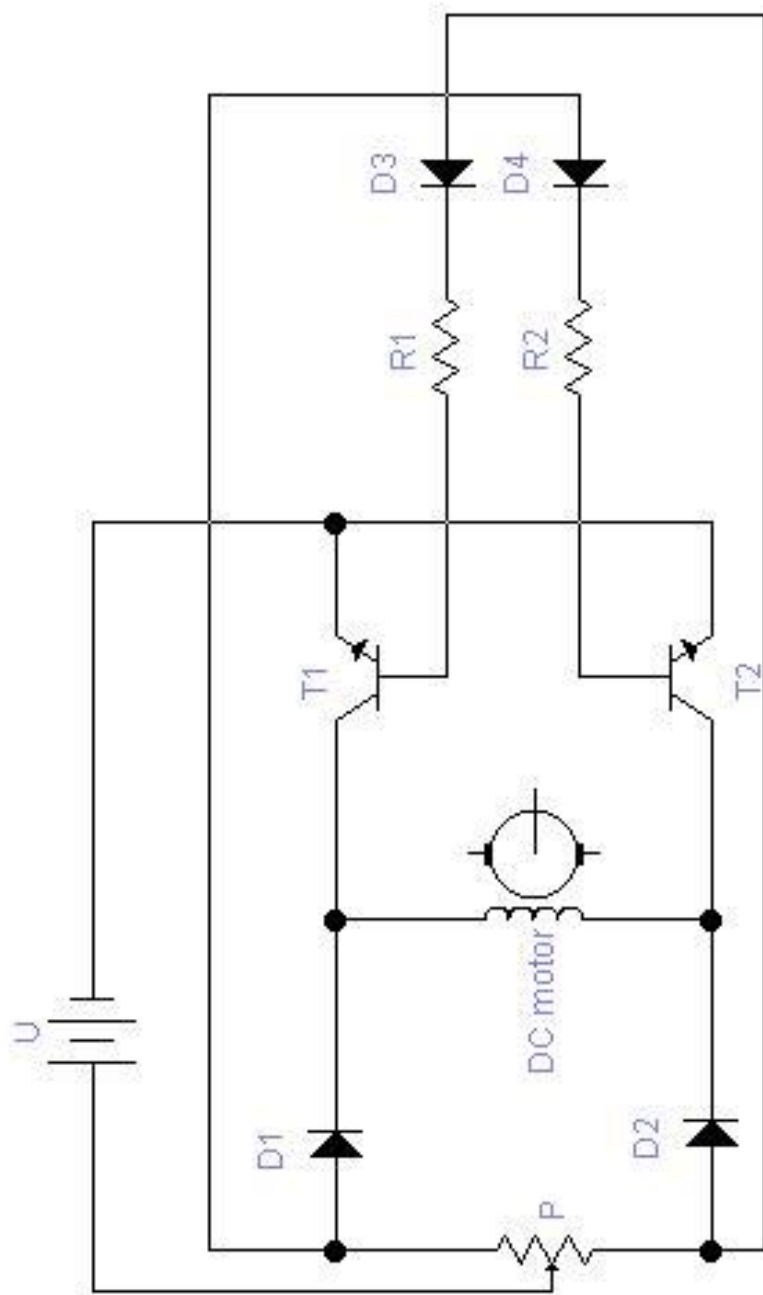


Slika 4. permanentno uzbuđeni sinkroni motor

1.5 PROMJENA SMJERA VRTNJE DC MOTORA

Ovakaj sklop služi za promjenu brzinu istosmjernih motora, omogućena je promjena smera gibanja motora u istom trenutku kontrola brzine motora. Kada se kliznik potenciomentra nalazi u sredini motor miruje. Pomicanje kliznika npr. ulijevo dolazi do podjele napona s baterije na potencionetru te s tim se pobuđiva tranzistor T2, preko diode D1. Tada radna struja teče preko D1- motor- T2- masa. Diode D3 i D4 te kao i otpornici R1 i R2 dodani u spoj radi smanjenja struje tranzistora u zapiranju. Ovi DC motori koriste se za manje snage.

Naziv ili vrijednost elementa	Pozicija elementa u sklopu	Komada
Tranzistori		
BD135	T1, T2	2
Diode		
1N4001	D1,D2	2
BA127D	D3,D4	
Otpornici		
Potenciometar žičani 50R/5W	P	1
33R	R1,R2	2
Ostali elementi		
Baterija 4,5V	U	1
Priključnice		4
		Ukupn



Slika 5. Shema promjene smjera vrtnje DC motora

1.6 PREDNOSTI ELEKTRIČNE PROPULZIJE

1. smještaj glavnih strojeva i generatora ne ovisi o položaju osovinskog voda
2. jedna propelerska osovina može se pokretati energijom više agregata, postiže se bolje iskorištenje prostora strojarnice jer električni strojevi imaju,
3. manje je dimenzije od glavnoga pogonskog stroja,
4. električna energija koju proizvode generatori za propulziju, može se koristiti i za napajanje drugih brodskih električnih trošila,
5. mogu se odabrati najpovoljnije brzine vrtnje propelera i pogonskog stroja jer između njih nema mehaničkog spoja,
6. brzina vrtnje propelera regulira se u širem području rada, prekretanje propelera obavlja se bez promjene smjera vrtnje glavnih pogonskih strojeva,
7. udarci i vibracije s propelera ne prenose se na glavni pogonski stroj, bolje su manevarske sposobnosti broda jer se daljinskim upravljanjem lako i brzo mijenja režim rada postrojenja,
8. mogu se isključiti pojedini agregati kad je pri manjim brzinama broda dostatno manja snaga.

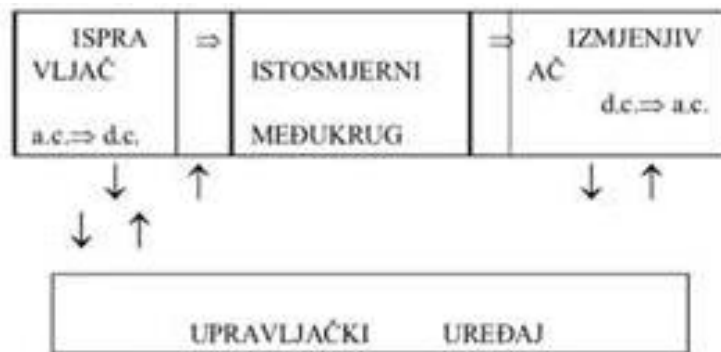
1.7 NEDOSTACI ELEKTRIČNE PROPULZIJE

1. viša cijena u usporedbi s drugim propulzijama,
2. niža korisnost zbog dvostruke pretvorbe energije (električna propulzija: $\eta = 0,86 - 0,92$, mehanička propulzija: $\eta = 0,95 - 0,98$),
3. veći broj visokoobrazovne posade potrebne za rukovanje i nadzor postrojenja.
4. Poredbeni prikaz ulaganja u opremu za dizelsko-električnu (tamna ploha) i standardnu mehaničku propulziju.

2 *PRETVARAČI*

Po principu rada postoje dvije vrste pretvarača frekvencije :

- Direktni – izravno se iz valnog oblika ulaznog a.c. napona sintetizira željeni oblik izlaznog napona i frekvencije, uklapanjem/isklapanjem poluvodičkih ventila.
- Indirektni – ulazni a.c. napon se ispravlja u d.c. napon, sintetizira i obrađuje pa ponovno vraća u a.c. oblik.



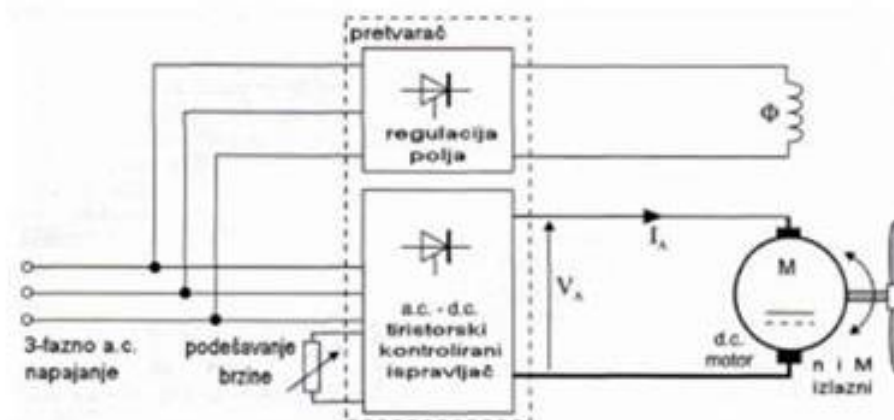
Slika 6. Shema pretvarača

2.1 PODJELA PRETVARAČA S PRIMJENOM U BRODSKOJ ELEKTRIČNOJ PROPULZIJI

- Tiristorski kontrolirani d.c. pogon (a.c. >d.c.) za d.c. motore
- PWM (pulse with modulation) (a.c. > d.c. > a.c.) za kavezne asinkrone motore;
- Synchro pretvarač (a.c. > d.c. > a.c.) za sinkrone motore
- Cyclo pretvarač (a.c. > a.c.) za klasične ili permanentno uzbuđenensinkrone motore i asinkrone

1. TIRISTORSKI KONTROLIRANI D.C. POGON

Regulacija brzine vrtnje se ostavljuje naponom i poljem, odnosno promjenom iznosa napajanja i mjenjajući magnetsko polje pomoću uzbudne struje. Dva tiristirska ispravljača različitih snaga upotrebljavaju se za stvaranje magnetskog toka. Pojedini sistemi imaju konstantnu struju uzbuđenja, odnosno u uzbudnom krugu se nalazi obični diodni most bez regulacije izlazne struje. Prekretanje motora se može postići prekretanjem armaturne ili uzbudne struje (pojedinačno).

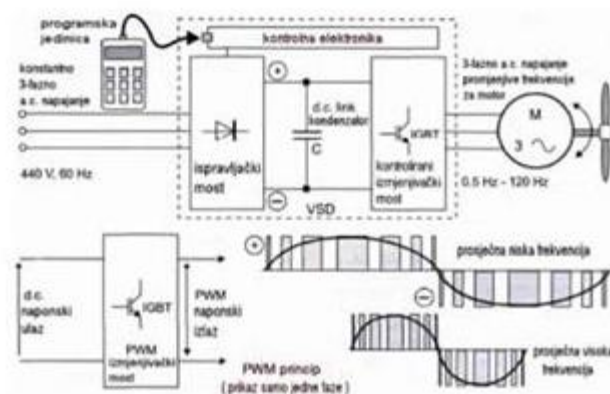


slika 7. tiristorski kontrolirani d.c. pogon

2. PWM PRETVARAČ

Ovaj tip pretvarača se koristi kombiniran s asinkronim propulzijskim motorima manjih snaga pogona(0.5-8MW).

Kod njih imamo dvostruku konverziju energije (a.c>d.c>a.c).



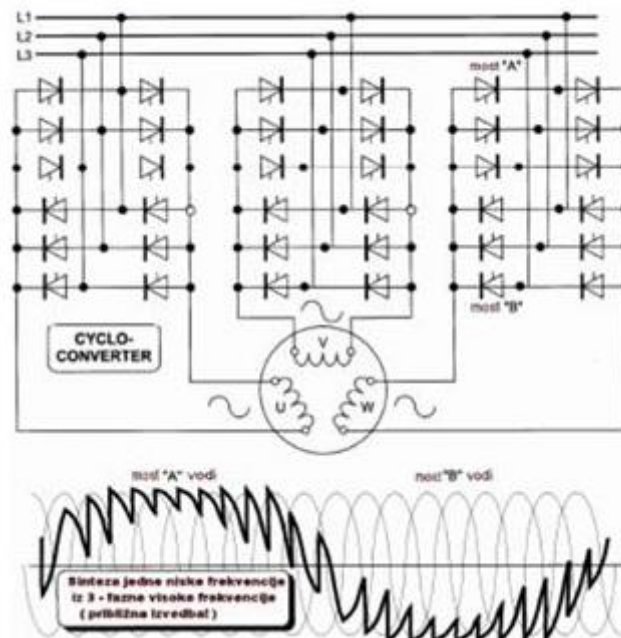
Slika 8. Pwm pretvarač

Istosmerni napon sjeće se u naponske impulse različitih veličina, ali konstantne razine u kompjutorski kontroliranom izmjenivaču uz uporabu IGBT (*eng. Insulated gate bipolar transistor*) tranzistora. Ovaj postupak se naziva modulacija širine impulsa ili PWM mjenjaju šire ili polaritete impulsa d.c. napona moguće je generirati sinusoidalni a.c. izlazni napon na velikom frekvencijskom području (0.5-120Hz) pa je nužno upotrijebiti reduktor. S promjenom frekvencije dolazi do promjene i brzine propulzijskog motora. Za razliku od tiristora, tranzistori se mogu uklapati i isklapati na vrlo velikim frekvencijama (20kHz kod PWM pretvarača). Zato je prednost PWM postupka pred drugim postupcima upotrebljavaju niske sklopne frekvencije, lakšem filtriranju neželjenih harmonika na izlazu.

3. CYCLO PRETVARAČ

Glavna upotreba cyclo pretvarača je za izmjeničnu pretvorbu u području srednjih i veoma velikih snaga (0.5-20 MW) dok je za male snage ovo rješenje preskupo. Poluvodičke komponente koje imaju potrebnu naponsku i strujnu opteretivost u ovom području veoma velikih razina snaga su tiristor i IGBT (eng. *insulated-gate bipolar transistor*), a u novije vrijeme i IGCT (eng. *Integrated Gate Commutated Thyristor*) koji je razvila i usavršila tvrtka ABB i koji donosi dodatna poboljšanja u radu propulzijskog pogona.

Za razliku od synchro pretvarača koji mogu proizvesti izlaznu frekvenciju dvostruko veću od ulazne (0 – 120 Hz), cyclo pretvarači su ograničeni na svega jednu trećinu izlazne frekvencije u odnosu na ulaznu (0 – 20 Hz). Zbog toga su cyclo pretvarači pogodni za napajanje pogona s manjim vrijednostim brzina (80-200 o/min) gdje se izostavljaju reduktori.



Slika 9. cyclo pretvarač

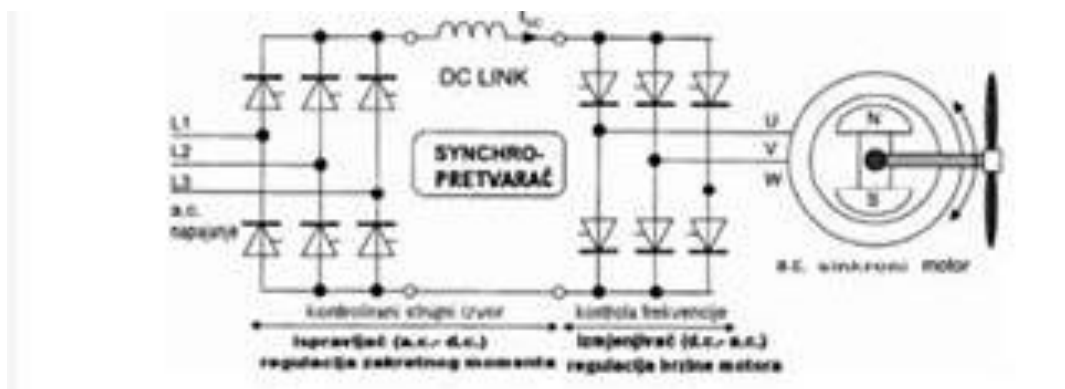
Za svaku fazu posebno, postoje dva paralelna pretvarača s obrnuto usmjerenim tiristorima; to je most «A» tzv. Pozitivni pretvarač koji daje pozitivnu poluperiodu struje i most «B» tzv. negativni pretvarač koji daje negativnu poluperiodu struje. Oba pretvarača se sastoje od po 6 tiristora, a pošto postoje 3 faze ukupan broj tiristora u cyclo pretvaraču je 36. Tako velik broj tiristora se odražava i na cijenu pogona pa predstavlja jedan od nedostataka cyclo pretvarača. Izlazni naponski valni oblik dosta izobličen (tzv. brujanje) što se još više pogoršava kako izlazna frekvencija raste. To je glavni razlog ograničenja najveće izlazne frekvencije Cyclo pretvarač se može direktno napajati preko visoko-naponske sabirnice, ali se češće preko transformatora za sniženje napona. Tako dolazi do smanjuje napon motora i njegov potrebnog izolacijski nivo, a osigurava se dodatna linijska impedancija za smanjenje eventualnih struja kratkog spoja i naponskih harmoničkih izobličenja na glavnoj sabirnici napajanja. Kod većih cyclo pretvaračkih sustava (npr. krstarećih putničkih brodova) koji u brodsku mrežu pridonose puno harmoničkih izobličenja uobičajeno je da se umjesto transformatora koristi par motor-generatorskih jedinica. Na taj način se osigurava "čisto" napajanje bez prisustva harmoničkih izobličenja.

4. SYNCHRO PRETVARAČ FREKVENCIJE

Synchro pretvarač se koristi za velike a.c. sinkrone motorne pogone (*eng. synchrodrive*) i daje mnogo prednosti kod primjene u brodskoj električnoj propulziji. Zahvaljujući svojoj konstrukciji na izlazu može dati frekvenciju i duplo veću od ulazne takozvanu mrežne frekvencije (0 – 120 Hz).

Također se sastoji od kontroliranog ispravljačkog i izmjenjivačkog dijela, a oba se oslanjaju na prirodno uklapanje (linijska komutacija) tiristora pomoću 3 – faznog a.c. napona. Između njih se nalazi reaktorska zavojnica za strujno glađenje koja tvori d.c. vezu (*eng.d.c.link*).

Postoji sličnost između synchro pogona i d.c. motornog pogona, tako da ispravljački dio djeluje kao d.c. napajanje, a kombinacija izmjenjivač/sinkroni motor kao d.c. motor. Uklapanje izmjenjivača djeluje kao statički komutator.



Slika 10. synchro pretvarač frekvencije

Objašnjenje rada synchro pretvarača bi bilo da strujni izvor osigurava željeni zakretni moment motora, a izmjenjivački dio željenu brzinu. Kolika će biti frekvencija motora ovisi o brzini uklapanja izmjenjivačkih tiristora. Za normalan rad sinkronog motora je potrebno osigurati uzbuđno polje rotora, a to je ostvareno posebnim tiristorski kontroliranim ispravljačkim krugom. Izuzetak su, danas jako popularni, permanentno uzbuđeni sinkroni motori koji ne zahtijevaju poseban uzbuđni sklop, jer za uzbuđu koriste specijalne permanentne magnete. Velike prednosti synchro pretvarača su da imaju jednostavniju strukturu elektroničkih komponenti za napajanje, kontrolu i nadzor; synchro-pretvarački pogoni zahtijevaju svega trećinu poluvodičkih elemenata, propulzijskih transformatora i rastavljača, što utječe na cijenu pogona, a sistem je robusniji i jednostavniji za kontrolu i nadzor. Nisu potrebni dodatni brzi mehanički prekidači strujnog kruga za kratko-spojnu zaštitu. Unose manje harmoničkih izobličenja u brodsku mrežu, znači i manji THD (*eng. Total harmonic distortion*) faktor mreže što je u skladu sa specifikacijama klasifikacijskih društava.

3 UPOTREBA VISOKOG NAPONA NA BRODOVIMA S DIZELELEKTRIČNOM PROPULZIJOM

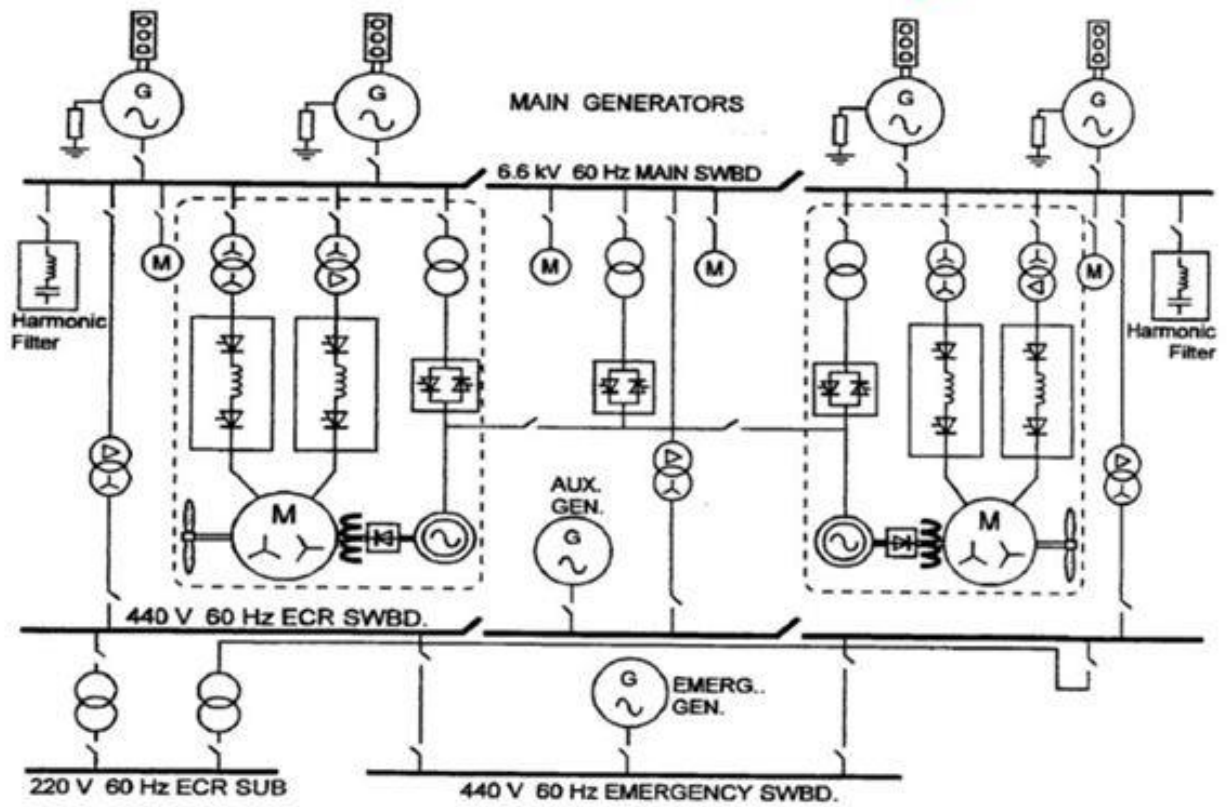
Najveći problem koji se javlja kod visokonaponskih sustava je rizik od smrtonosnih strujnih udara , zato se na brodovima poduzimaju stroge mjere zaštite, a osobe zadužene za održavanje HV opreme mora biti posebno osposobljeno i biti upoznati sa svim sigurnosnim postupcima u radu.



Slika 11. Zaštitna oprema

Tako možemo dati primjer uporabe visokog napona na brodovima s dizel električnom propulzijom , dakle HV generatori tvore centralnu jedinicu snage za sve brodske potrošače električne energije. Na velikim putničkim brodovima s električnom propulzijom svaki generator može imati vrijednosti 10 MW ili više i proizvoditi 6.6 kV, 60 Hz 3-faznog a.c. napona. Glavni potrošači su dva sinkrona 3 kV a.c. propulzijska električna motora, svaki sa zahtjevom od 12 MW i više u uvjetima punog opterećenja. Motori imaju po dva odvojena 6 MW statorska namota i svaki taj polunamot se napaja s HV rasklopne ploče preko 6.6/3.0 kV propulzijskog transformatora i statičkog 6-pulsnog synchro pretvarača. 24-polni motori daju brzinu okretaja osovine 0-145 o/min kontroliranu od pretvarača s izlaznim frekvencijskim rasponom 0-29 Hz.

Power Distribution Diagram



Slika 12. Shema visokog napona

4 AZIPOD

Jedan od najboljih primjera je ABB-ov pogonski sustav Azipod koji je prijenosni pogonski sustav bez prijenosa koji uključuje električni pogonski motor koji se nalazi u podvodnom podu izvan trupa broda, gdje većina konvencionalnih rješenja smjestiti pogonski motor unutar trupa. Motor podsustava propulzivnog sustava izravno je povezan s propelerom s fiksnim nagibom, koji kontrolira brzinu propelera.

Električna snaga motora se provodi kroz klizne prstenove koji omogućuju da se Azipod uređaj okreće kroz 360 stupnjeva oko okomite osi, koji omogućuje da opskrbljuje potisak u bilo kojem smjeru, što rezultira daleko većom upravljivošću broda nego što je to slučaj sa linijama rješenja. Posuda opremljena Azipod propulzijskim sustavom ne zahtijeva kormila, dugačke vratila za vodu ili poprečne potiskivače i stoga dopušta smanjenje otpora trupa. Dokazano je da Azipod jedinice postižu značajno bolju potrošnju goriva od konvencionalnog pogonskog sustava .

Ostale pogodnosti uključuju poboljšanu sigurnost i zalihost, povećanu udobnost na brodu, jednostavnu instalaciju u brodogradilištima i poboljšane radne karakteristike u teškim uvjetima leda.



Slika 13. Azipod

4.1 PREDNOSTI AZIMUTALNOG PROPULZIJSKOG SUSTAVA

1. Mehanički je jednostavniji od ostalih tipova propulzijskih sustava, jer se izostavljaju dugačke osovine, ležajevi, kormilarski zupčanici, kormila, reduktori, a nema ni složenih propelera s prekretnim krilima
2. Znatno poboljšanje dinamičko-hidrauličkih i manevarskih sposobnosti
3. Smanjena potrošnja energije, manji troškovi održavanja i manje zagađenje okoliša;
4. Propulzijske karakteristike pri vožnji naprijed ili nazad su gotovo iste, pogodan za tlačne i vlačne operacije, male i velike brzine neovisno o vremenskim uvjetima plovidbe
5. Potrebna je promijenjena konstrukcija broskog trupa zbog karakterističnog položaja pogonske gondole van broda. O tome treba voditi računa prije konstruiranja broda
6. U slučaju većeg kvara na propulzijskom motoru nužno je vađenje broda na kopno zbog popravka što znatno poskupljuje postupak servisiranja.

4.2 PRIMJENA ELEKTRIČNE PROPULZIJE NA BRODU

PUTNIČKI KRSTAREĆI BRODOVI

(eng. Cruise liners)

Električna propulzija je svoju veliku primjenu našla upravo na velikim putničkim krstarećim brodovima, gdje njena upotreba osigurava sve one povoljne karakteristike neophodne za što komforniju plovidbu uz odlična manevarska svojstva. Može se reći da se upravo u ovoj grani brodarstva očekuju velike perspektive u njenoj daljnjoj primjeni.



Slika 15. Putnički krstareći brod

BRODOVI ZA SPECIJALNE NAMJENE

U ovu skupinu brodova spadaju svi ostali tipovi brodova kao što su polagači cijevi, višenamjenski brodovi, brodovi za bušenje (*eng. drill ships*), FPSO tankeri (*eng. floating production and storage*), ledolomci, višenamjenski brodovi. Svi oni zahtijevaju iznimno dobre manevarske karakteristike s čestim preokretanjima što im upotreba električne propulzije i omogućava. Platforme, brodovi bušači (*drill ship*).



Slika 16. Obalno ophodni brod

5 ZAKLJUČAK

Zbog velike zastupljenosti danas veliku važnosti imaju glavnih električni pogoni s izmjeničnim motorima napajanima preko pretvarača frekvencije, u budućnosti se očekuje da će na brodovima za električnu propulziju prevladavati pogoni s izmjeničnim (sinkronim i asinkronim) motorima. Također se utvrđuje se da će se uskoroj budućnosti izvor za električnu propulziju broda biti i gorive ćelije, koje su se do danas ugrađivale u svemirske brodove, a neki su pokusi provedeni i na podmornicama. Najveća je prednost uporabe gorivih ćelija visoki stupanj korisnosti i vrlo mali negativni utjecaj na okoliš. Stupanj korisnosti je znatno viši nego u svih do danas korištenih toplinskih procesa za proizvodnju električne energije, dok se pri izgaranju ne stvaraju nikakvi štetni sastojci. U današnje vrijeme razvijeno više gorivih ćelija s obzirom na vrstu goriva, elektrode, elektrolit i oksidante.

6 *LITERATURA*

1. Električna propulzija, Maja krčum, Split
2. <https://bit.ly/2LI8Xde>
3. <https://bit.ly/2LKE2wN>
4. <http://www.beyondships2.com/abb-azipod-interview.html>
5. <https://bit.ly/2MDAtOp>
6. <https://bit.ly/2MG69m1>